



**Eur päisches  
Patentamt**

**European  
Patent Office**

**Office européen  
des brevets**

**Bescheinigung**

**Certificate**

**Attestation**

Die angehefteten Unterla-  
gen stimmen mit der  
ursprünglich eingereichten  
Fassung der auf dem näch-  
sten Blatt bezeichneten  
europäischen Patentanmel-  
dung überein.

The attached documents  
are exact copies of the  
European patent application  
described on the following  
page, as originally filed.

Les documents fixés à  
cette attestation sont  
conformes à la version  
initialement déposée de  
la demande de brevet  
européen spécifiée à la  
page suivante.

**Patentanmeldung Nr.    Patent application No.    Demande de brevet n°**

**02102591.1**

Der Präsident des Europäischen Patentamts;  
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets  
p.ò.

**R C van Dijk**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



Anmeldung Nr:  
Application no.: 02102591.1  
Demande no:

Anmeldetag:  
Date of filing: 15.11.02  
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

Ford Global Technologies, Inc.,  
A subsidiary of Ford Motor Company  
600 Parklane Towers East  
Dearborn,  
Michigan 48126  
ETATS-UNIS D'AMERIQUE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:  
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.  
If no title is shown please refer to the description.  
Si aucun titre n'est indiqué se referer à la description.)

**VERFAHREN ZUR REGELUNG DER ELEKTRISCHEN BATTERIELEISTUNG IN EINEM KRAFTFAHRZEUG**

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)  
revendiquée(s)

Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/  
Classification internationale des brevets:

H02J7/16

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten/Contracting states designated at date of  
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

Verfahren zur Regelung der elektrischen Batterieleistung in einem Kraftfahrzeug

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der elektrischen Batterieleistung, die der mit dem Bordnetz eines Kraftfahrzeuges gekoppelten Batterie des Kraftfahrzeuges zugeführt oder entnommen wird, wobei die vom Kraftfahrzeug verbrauchte elektrische Gesamtleistung von einem an die Brennkraftmaschine des Kraftfahrzeuges gekoppelten Generator erzeugt wird. Ferner betrifft die Erfindung einen Regler zur Durchführung eines derartigen Verfahrens.

An das elektrische Bordnetz eines Kraftfahrzeuges sind die elektrischen Verbraucher des Kraftfahrzeuges sowie in der Regel eine wiederaufladbare Batterie gekoppelt. Die dem Bordnetz entnommene elektrische Energie wird von einem Generator ("Lichtmaschine") erzeugt, welcher von der Brennkraftmaschine des Kraftfahrzeuges angetrieben wird. Die an das Bordnetz gekoppelte Batterie dient dazu, eine Energiereserve beziehungsweise einen Puffer zu bilden, um jederzeit ausreichend Leistung für z. B. das Anlassen der Brennkraftmaschine bereitzustellen.

15

Die Versorgung des elektrischen Bordnetzes durch den Generator wird bei konventionellen Laderegeln derart geregelt, daß eine bestimmte Spannung oberhalb der Leerlaufspannung der Batterie eingestellt wird, um den Ladezustand der Batterie bei nahezu 100% zu halten. Auf diese Weise soll die Spannung im Bordnetz auf einem stationären Wert gehalten werden und stets ausreichend Energie für das Anlassen der Brennkraftmaschine zur Verfügung stehen. Unter dem Gesichtspunkt einer effizienten Energieausnutzung ist eine derartige Regelungsstrategie allerdings ungünstig, da hierbei sehr viel Energie in Gasreaktionen in der Batterie verloren geht. Auch ist ein Ladezustand von nahezu 100% bei Verwendung eines regenerativen Bremssystems nicht empfehlenswert, da die Batterie bei einem derartigen Ladezustand die beim regenerativen Bremsen freigesetzte elektrische Leistung kaum aufnehmen kann. Deshalb sind Batterieladesysteme vorge-

25

schlagen worden, bei denen der Ladezustand in einem Fenster bzw. um einen Betriebspunkt herum gehalten wird, wobei das Fenster bzw. der Betriebspunkt deutlich unterhalb von 100 % liegt. Ein derartiges System ist beispielsweise aus der US 6 091 228 bekannt. Ein weiteres Phänomen bei bekannten Kraftfahrzeugen besteht darin, daß die Erzeugung von elektrischer Leistung durch den Generator nicht in allen Motorbetriebszuständen gleich effizient ist. So ist beispielsweise für eine Leistungserzeugung im Motorleerlauf pro zusätzlich erzeugter Leistung tendenziell ein höherer zusätzlicher Kraftstoffeinsatz erforderlich, als dies z. B. in einem Normalbetrieb des Motors bei höheren erzeugten Drehmomenten der Fall ist.

Vor diesem Hintergrund war es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Regelung der einer Batterie entnommenen beziehungsweise zugeführten elektrischen Leistung ("Batterieleistung") bereitzustellen, welches eine verbesserte Ausnutzung des verbrauchten Kraftstoffes ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch einen Regler mit den Merkmalen des Anspruchs 7 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen enthalten.

Das erfindungsgemäße Verfahren dient der Regelung der elektrischen Batterieleistung, worunter definitionsgemäß die elektrische Leistung verstanden wird, die einer mit dem Bordnetz eines Kraftfahrzeuges gekoppelten Batterie des Kraftfahrzeuges zugeführt oder entnommen wird. Per Konvention kann dabei z. B. eine der Batterie zugeführte Leistung einen positiven Wert und eine entnommene Leistung einen negativen Wert haben. Bei dem Verfahren wird die vom Kraftfahrzeug (d. h. Bordnetz einschließlich der Batterie) verbrauchte elektrische Gesamtleistung von einem an die Brennkraftmaschine des Kraftfahrzeuges gekoppelten Generator erzeugt. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß eine Kostenfunktion berechnet wird, deren Wert ein Maß für den Kraftstoffmehrverbrauch, der für die Erzeugung der elektrischen Gesamtleistung durch den Generator erforderlich ist, im Verhältnis zu der mit diesem Mehrverbrauch erzeugten Gesamtleistung wieder-

gibt. Mit Hilfe dieser Kostenfunktion wird dann ein Optimalwert der Batterieleistung derart bestimmt, daß der Wert der Kostenfunktion bei Einstellung des Optimalwertes ein Minimum annimmt.

- 5 Die bei dem Verfahren verwendete Kostenfunktion spiegelt die Effizienz bzw. den Wirkungsgrad der Stromerzeugung wider, da diese den Kraftstoffverbrauch in Beziehung zu der damit erzeugten elektrischen Leistung setzt. Je kleiner der Wert der Kostenfunktion ist, desto effizienter wird der Kraftstoff in elektrische Energie umgewandelt.

10

- Die Abhängigkeit der Kostenfunktion von verschiedenen Zustandsgrößen und Parametern kann theoretisch hergeleitet und/oder empirisch ermittelt werden. Dabei zeigt es sich, daß unter gegebenen Rahmenbedingungen bei einem bestimmten Wert der erzeugten elektrischen Leistung die Kraftstoffausnutzung optimal, d. h.
- 15 der Wert der Kostenfunktion minimal ist. Bei dem erläuterten Verfahren wird nun die Batterieleistung als einstellbarer Parameter behandelt, dessen Wert so bestimmt wird, daß die Kostenfunktion minimiert wird. Durch ein Laden der Batterie kann nämlich die verbrauchte Gesamtleistung des Bordnetzes erhöht und durch ein Entladen der Batterie verringert werden. Durch Veränderung der Batterieleistung kann somit die verbrauchte Gesamtleistung in einen Punkt verlagert werden,
- 20 in dem die Kostenfunktion minimal ist. Die Bereitstellung elektrischer Energie für das Bordnetz erfolgt dann jederzeit unter optimaler Kraftstoffausnutzung.

- Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens werden bei der Bestimmung des Optimalwertes die Batterieladeverluste berücksichtigt. Batterieladeverluste entstehen aufgrund der realen physikalischen und chemischen Prozesse und lassen sich durch die Differenz zwischen der einer Batterie beim Laden zugeführten elektrischen Energie und der beim Entladen aus der Batterie wieder entnehmbaren Energie quantifizieren. Die Berücksichtigung der Batterieladeverluste erlaubt eine realistischere Optimierung der Stromerzeugung, da durch diese die Kosten für die Verwendung der Batterie als Puffer berücksichtigt werden.
- 25
- 30

Bei der vorstehend beschriebenen Ausführungsart des Verfahrens werden die Batterieladeverluste vorzugsweise durch eine laufende Mittelwertbildung der gemessenen Effizienz der Batterieladung und Batterieentladung bestimmt. Auf diese Weise werden die für die Batterieladeverluste relevanten Parameter ständig auf  
5 einem aktuellen Wert gehalten.

Gemäß einer anderen Weiterbildung des Verfahrens wird die tatsächlich eingestellte Batterieleistung gegenüber dem berechneten Optimalwert erhöht, falls der Ladezustand der Batterie niedriger als ein vorgegebener Wert ist, und verringert,  
10 falls der Ladezustand der Batterie höher als ein vorgegebener Wert ist. Durch diese Korrektur des Optimalwertes kann sichergestellt werden, daß ein gewünschter vorgegebener Wert für den Ladezustand der Batterie näherungsweise eingehalten wird, bzw. daß der Ladezustand der Batterie in einem vorgegebenen Fenster gehalten wird.

15

Vorzugsweise wird das Verfahren durch eine Strategie zu einem regenerativen Bremsen des Kraftfahrzeuges ergänzt. Beim regenerativen Bremsen wird die Bremsenergie teilweise in elektrische Energie umgewandelt. Die in der Bewegung des Fahrzeuges gespeicherte kinetische Energie geht daher nicht ganz in Reibungswärme über - und somit der Energiebilanz verloren -, sondern wird überwiegend in nutzbare elektrische Energie verwandelt.  
20

Das regenerative Bremsen wird dabei vorzugsweise in einem Gang durchgeführt, welcher die erzeugte elektrische Energie beziehungsweise den Energiefluß zur  
25 Batterie maximiert.

Die Erfindung betrifft ferner einen Regler zur Regelung der elektrischen Batterieleistung, die der mit dem Bordnetz eines Kraftfahrzeuges gekoppelten Batterie des Kraftfahrzeuges zugeführt oder entnommen wird, wobei die vom Kraftfahrzeug  
30 verbrauchte elektrische Gesamtleistung von einem an die Brennkraftmaschine des Kraftfahrzeuges gekoppelten Generator erzeugt wird. Der Regler ist dadurch gekennzeichnet, daß dieser dahingehend ausgebildet ist, ein Verfahren der vorstehend erläuterten Art durchzuführen. Der Regler kann somit eine Kostenfunktion



berechnen, welche das Verhältnis des Kraftstoffmehrverbrauches zur damit erzeugten elektrischen Gesamtleistung bestimmt. Ferner kann der Regler einen Optimalwert der Batterieleistung derart bestimmen und einstellen, daß die genannte Kostenfunktion minimiert wird.

5

Ein wesentlicher Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß für die Ladestrategie nicht nur der Ladezustand (SOC) der Batterie, der mittels verschiedener bekannter Verfahren näherungsweise z. B. anhand der Batteriespannung, der Batterietemperatur und der Batterieleistung bestimmt werden kann, herangezogen wird, sondern auch die Kraftstoffeffizienz der Energieerzeugung durch den Generator durch Einführung einer Kostenfunktion mit berücksichtigt wird. Dies führt z. B. dazu, daß im Leerlaufbetrieb des Verbrennungsmotors die elektrische Leistung verstärkt über die Batterie bereitgestellt wird, solange der Ladezustand der Batterie dies erlaubt, um die Kraftstoffeffizienz insgesamt zu erhöhen. Die in diesem Zustand entnommene Leistung wird der Batterie in energetisch effizienteren Betriebsbereichen des Generators oder bei einem generatorischen Bremsen wieder zugeführt. Trotz der Batterieladeverluste kann hierdurch in der Gesamtbilanz eine Kraftstoffersparnis erzielt werden.

20 Im Folgenden wird die Erfindung mit Hilfe der beigefügten Figur beispielhaft erläutert. Die einzige Abbildung zeigt die Systemkomponenten, die an der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens beteiligt sind.

Zu erkennen ist in der Abbildung zunächst eine Brennkraftmaschine 2, welche in bekannter Weise unter Zufuhr eines Kraftstoffmassenflusses  $\dot{m}_f$  aus einem Kraftstofftank 1 eine mechanische Leistung erzeugt. Ein Teil dieser mechanischen Leistung wird von einem Generator 3 (Lichtmaschine), der an die Kurbelwelle der Brennkraftmaschine 2 gekoppelt ist, abgegriffen und in eine elektrische Leistung  $P_g$  umgewandelt. Die elektrische Leistung  $P_g$  wird dem symbolisch dargestellten Bordnetz 4 des Kraftfahrzeuges zugeführt. An das Bordnetz 4 sind alle elektrischen Verbraucher angeschlossen, wobei die von diesen benötigte elektrische Leistung mit  $P_e$  bezeichnet wird.

An das Bordnetz 4 ist ferner eine wiederaufladbare Akkumulatorbatterie 5 angekoppelt, wobei zwischen dem Bordnetz 4 und der Batterie 5 die elektrische Leistung  $P_B$  ausgetauscht wird. Die Vorzeichenkonvention für die Leistung  $P_B$  ist vorliegend so gewählt, daß bei einem Laden der Batterie  $P_B > 0$  und bei einem Entladen der Batterie  $P_B < 0$  ist.

Des Weiteren ist in der Abbildung erkennbar, daß sich die Batterieleistung  $P_B$  aus zwei Teilen zusammensetzt: erstens einer reversiblen Batterieleistung  $P_B^*$ , die den Energieanteil erfaßt, welcher der Batterie 5 zu 100% wieder entnehmbar ist, und zweitens einem Batterieladeverlust  $P_V$ , welcher bei jedem Lade- und Entladevorgang der Batterie 5 unwiderruflich verloren geht.

Während herkömmliche Verfahren zur Kontrolle der Batterieladung eine konstante Spannung der Batterie 5 einzuhalten versuchen, wird vorliegend zur Verbesserung der Kraftstoffausnutzung eine Strategie mit einer variablen Stromerzeugung des Generators 3 vorgeschlagen. Diese Strategie besteht aus zwei Teilen, nämlich erstens aus einer optimalen Ladestrategie bei einem positiven Antrieb des Kraftfahrzeuges, und zweitens aus einer Strategie des regenerativen Bremsens, wenn die mechanischen Bremsen des Kraftfahrzeuges aktiv sind.

Während der optimalen Ladestrategie wird der Strom-Betriebspunkt des Generators 3 mit einem Optimierungsalgorithmus für die Umwandlung chemischer Leistung, ausgedrückt als Kraftstoffmassenfluß  $\dot{m}_f$  in Bezug auf die von den elektrischen Lasten benötigte elektrische Leistung  $P_g$ , berechnet. Bei dieser Optimierung wird darüber entschieden, ob die Batterie 5 geladen oder entladen wird beziehungsweise ob überhaupt kein Ladungstransfer mit der Batterie 5 stattfindet.

Die genannte Entscheidung wird auf der Basis einer Kostenfunktion  $J$  getroffen. Dazu wird die von den elektrischen Lasten (einschließlich der Batterie 5) benötigte Gesamtleistung  $P_g$  gemessen. Diese Gesamtleistung  $P_g$  muß vom Generator 3 erzeugt werden, was zu einem Kraftstoffmehrverbrauch der Brennkraftmaschine 2 führt. Der Anstieg des Kraftstoffmassenflusses  $\Delta\dot{m}_f$  in Bezug auf den normalen,

für die Bewegung des Kraftfahrzeuges benötigten Kraftstofffluß kann ermittelt werden. Sodann kann die Kostenfunktion  $J$  berechnet werden als das Verhältnis von Kraftstoffmehrverbrauch zur Gesamtleistung gemäß:

$$J = \frac{\Delta \dot{m}_f}{BSFC_{Best} \cdot P_g} = f(n, T, P_g)$$

5

Hierin ist  $BSFC_{Best}$  der beste spezifische Verbrauchswert des Verbrennungsmotors,  $n$  die aktuelle Drehzahl der Brennkraftmaschine 2 und  $T$  das von der Brennkraftmaschine 2 abgegebene Drehmoment. Die Kostenfunktion wird vom besten möglichen spezifischen Verbrauch genormt, damit Ihr Wert immer mindestens und  
10 im besten Fall eins ist. Die Normierung erlaubt einen Vergleich zwischen verschiedenen Verbrennungsmotoren.

Wie vorstehend erläutert, setzt sich die Gesamtleistung  $P_g$ , die vom Generator 3 an das Bordnetz 4 zur Verfügung zu stellen ist, aus einer von der Batterie 5 aufgenommenen Leistung  $P_B$  und einer von den übrigen elektrischen Verbrauchern aufgenommenen Leistung  $P_e$  zusammen. Die Batterieleistung setzt sich wiederum aus einem reversiblen Anteil  $P_B^*$ , welcher ohne Verlust der Batterie wieder entnommen werden kann, und einem Batterieladeverlust  $P_V$  zusammen, d.h.:

20

$$P_g = P_e + P_B = P_e + P_B^* + P_V.$$

Die in der Batterie auftretenden Batterieverluste  $P_V$  werden während des Ladens und des Entladens über ein gleitendes Zeitfenster gemessen und verwendet, um die durchschnittlichen Lade- und Entladeeffizienzen zu berechnen. Die hieraus  
25 erhaltenen durchschnittlichen Batterieladeverluste werden auf diese Weise kontinuierlich auf dem neuesten Stand gehalten.

Durch Veränderung der Batterieleistung  $P_B$  kann die Gesamtleistung  $P_g$  variiert und damit Einfluß auf die Kostenfunktion  $J$  genommen werden. Dies kann insbesondere dazu ausgenutzt werden, die Gesamtleistung möglichst nahe an ein Minimum der Kostenfunktion zu schieben, d.h. die Erzeugung elektrischer Leistung  
30

aus Kraftstoff möglichst effizient zu betreiben. Der zu einem solchen Minimum der Kostenfunktion gehörende Optimalwert der Batterieleistung sei dabei mit  $P_{B,opt}$  bezeichnet. Dieser Optimalwert kann mittels numerischer Näherungsmethoden aus den vorstehenden Zusammenhängen berechnet werden.

5

Um einen vorgegebenen nominellen Ladezustand (SOC: state of charge) der Batterie aufrecht zu erhalten, wird weiterhin noch eine Korrektur der berechneten optimalen Batterieleistung  $P_{B,opt}$  vorgenommen. Wenn der gemessene aktuelle Ladezustand SOC der Batterie 5 geringer als der Ziel-SOC ist, wird die optimale Batterieleistung  $P_{B,opt}$  erhöht. Wenn dagegen der aktuelle SOC oberhalb des Ziel-SOC  
10 liegt, wird die optimale Batterieleistung verringert.

Wenn das Kraftfahrzeug nicht angetrieben, sondern gebremst wird, wird in einer Strategie des regenerativen Bremsens Energie aus dem Bremsvorgang zurück-  
15 gewonnen und in elektrische Energie umgewandelt. Dabei wird vorzugsweise ein Gang gewählt, welcher die in die Batterie 5 fließende Energie maximiert.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung der elektrischen Batterieleistung, die der mit dem Bordnetz (4) eines Kraftfahrzeuges gekoppelten Batterie (5) des Kraftfahrzeuges zugeführt oder entnommen wird, wobei die vom Kraftfahrzeug ver-  
5 brauchte elektrische Gesamtleistung ( $P_g$ ) von einem an die Brennkraftmaschine (2) des Kraftfahrzeuges gekoppelten Generator (3) erzeugt wird,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
eine Kostenfunktion berechnet wird, welche ein Maß für den Kraftstoffmehrverbrauch bezogen auf die mit diesem Mehrverbrauch erzeugte elektri-  
10 schen Gesamtleistung darstellt, und daß ein Optimalwert der Batterieleistung so bestimmt wird, daß die Kostenfunktion minimiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
15 dadurch gekennzeichnet, daß  
die Batterieladeverluste ( $P_v$ ) bei der Bestimmung des Optimalwertes berücksichtigt werden.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die Batterieladeverluste ( $P_v$ ) durch eine laufende Mittelwertbildung der gemessenen Effizienz der Batterieladung und Batterieentladung bestimmt werden.  
25
4. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
30 die eingestellte Batterieleistung gegenüber dem berechneten Optimalwert erhöht oder verringert wird, um den Ladezustand der Batterie (5) in einem vorgegebenen Wertebereich zu halten.

5. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
ein regeneratives Bremsen des Kraftfahrzeuges durchgeführt wird, bei dem  
5 die Bremsenergie zumindest teilweise in elektrische Energie umgewandelt  
wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5,  
10 dadurch gekennzeichnet, daß  
das regenerative Bremsen in einem Gang durchgeführt wird, welcher die  
erzeugte elektrische Energie maximiert.
- 15 7. Regler zur Regelung der elektrischen Batterieleistung, die der mit dem  
Bordnetz (4) eines Kraftfahrzeuges gekoppelten Batterie (5) des Kraftfahr-  
zeuges zugeführt oder entnommen wird, wobei die vom Kraftfahrzeug ver-  
brauchte elektrische Gesamtleistung ( $P_g$ ) von einem an die Brennkraftma-  
schine (2) des Kraftfahrzeuges gekoppelten Generator (3) erzeugt wird,  
20 dadurch gekennzeichnet, daß  
dieser dahingehend ausgebildet ist, ein Verfahren nach mindestens einem  
der Ansprüche 1 bis 6 durchzuführen.

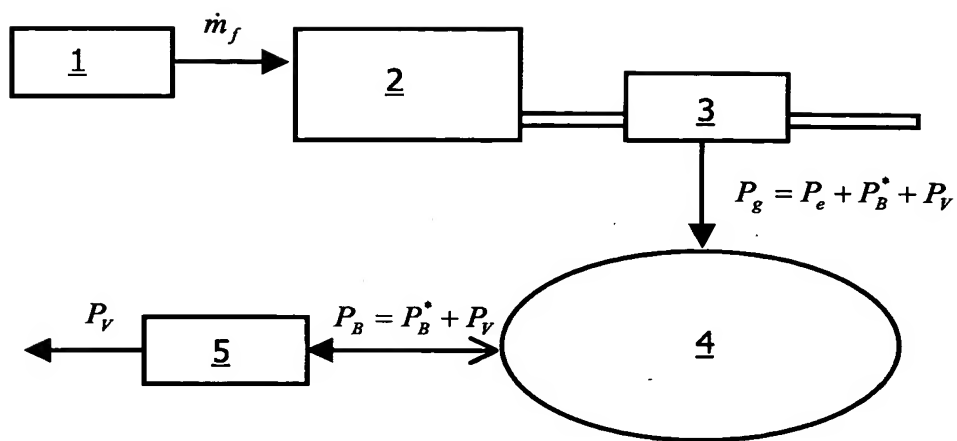
## Zusammenfassung

### Verfahren zur Regelung der elektrischen Batterieleistung in einem Kraftfahrzeug

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der einer Batterie (5) eines Kraftfahrzeuges zugeführten beziehungsweise entnommenen Batterieleistung. Dabei wird eine Kostenfunktion berechnet, die ein Maß für den Kraftstoffmehrverbrauch im Verhältnis zu der mit diesem Mehrverbrauch erzeugten elektrischen Gesamtleistung darstellt. Die optimale Batterieleistung wird dann so festgelegt, daß die Kostenfunktion minimiert wird, d. h. die elektrische Gesamtleistung möglichst effizient erzeugt wird, wobei Korrekturen an der berechneten optimalen Batterieleistung vorgenommen werden, um die Batterie in einem vorgegebenen Ladezustandsbereich zu halten.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**





**THIS PAGE BLANK (USPTO)**